

407-412

5883(10)

第15卷 第4期  
1995年12月生态学报  
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 15, No. 4  
Dec., 1995承德市油松针叶硫及重金属含量动态及其与大气 SO<sub>2</sub> 之间的关系\*

蒋高明

(中国科学院植物研究所, 北京, 100044)

S791.254

A

**摘要** 本文分析了承德市油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.) 针叶硫和重金属含量变化及其与大气 SO<sub>2</sub> 浓度之间的相关性, 探讨了油松针对大气 SO<sub>2</sub> 的生物监测作用, 结果认为: 植物 S 含量生长末期 > 休眠期 > 生长初期 > 生长旺盛期 ( $p < 0.001$ ), 重金属中 Pb 表现为类似的规律, S 和 Pb 含量分别从 0.75 mg · g<sup>-1</sup> 和 0.7 μg · g<sup>-1</sup> 上升到 1.58 mg · g<sup>-1</sup> 和 2.0 μg · g<sup>-1</sup>。Ni 变化不明显; Zn、Cu 和 Fe 呈下降趋势, 但 Zn 在休眠期略有回升, Mn 在休眠期最高, 但生长期也很高, 其余季节相对较低。这种变化特点与大气中 SO<sub>2</sub> 和总悬浮颗粒物(TSP)的变化趋势基本一致; 油松针叶 S 含量与大气 SO<sub>2</sub> 浓度之间具有很显著的相关性, 其中火车站监测点生长季节相关公式  $Y = -0.0263 + 0.0965X$  ( $r = 0.8911, p < 0.001$ ); 城区  $Y = 0.0126 + 0.0618X$  ( $r = 0.7841, p < 0.01$ ), 利用后者可对整个承德市区的大气 SO<sub>2</sub> 污染状况进行生物监测。

**关键词:** 油松针叶, 硫及重金属, 大气 SO<sub>2</sub>, 生物监测, 承德市。

大气, 二氧化硫;

污染物在植物不同生长发育时期含量不同, 因而植物对大气污染物的指示作用也会发生变化, 即植物对大气污染物的指示或监测作用有一定的季节性。弄清污染物在植物体内含量的变化, 对认识污染物在植物内的迁移转化规律和危害机制, 以及污染物对不同生长发育时期的影响有重要意义。不同污染物在植物内的行为不同, 例如氟可在植物体内富集, 因而随生长发育过程的延长, 氟含量也增大<sup>[1]</sup>; 另外一些可在植物体内发生转化、转移或植物本身对这些物质的吸收功能发生变化, 而使含量并不稳定。对于硫在植物体内的变化, 不同学者所持的观点不同, 有人认为在生长旺盛时期含量最低, 而生长末期最高。认为生长旺盛期, 植物生理活动虽然很旺盛, 但是对硫的转化也快, 含量反而低<sup>[2-7]</sup>; 有人持相反的观点, 认为生长旺盛时期吸收的硫较其他时期为高, 其含量也高<sup>[8,9]</sup>。

重金属在植物体内的变化是很复杂的, 与硫不同, 重金属在植物体内不易迁移转化, 植物一方面在其代谢过程中吸收重金属, 另一方面可通过气孔调节或以分泌的形式排出体外。另外, 一种重金属的含量变化影响植物对其他金属的吸收, 例如发电厂周围植物 Fe 的增加会引起 Mn 的增高<sup>[10,11]</sup>。

植物体内硫和重金属的污染主要与大气中 SO<sub>2</sub> 和 TSP 浓度有关, 受土壤的影响较小<sup>[12]</sup>, 这种特点正是植物生物监测大气污染的主要机理。本文选择我国文化名城、但大气污染居北方城市之首的承德市, 采集油松当年生针叶, 分析了 S 和 Cu、Fe、Zn、Mn、Ni、Pb 等重金属含量, 探讨硫和重金属在植物体内的动态变化; 并寻找油松针叶硫的含量与大气 SO<sub>2</sub> 浓度之间的相关性, 从而为充分利用植物生物监测这一经济、实效、快速的监测方法提供理论根据。

\* 本文系博士学位论文的一部分, 是在张新时、黄银晓、林辉华先生指导下完成的, 承德市环境保护局提供大气 SO<sub>2</sub> 和 TSP 监测数据; 田新智同志协助绘图, 特此致谢。

收稿日期: 1993 12 11, 修改稿收到日期: 1994 07 11。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究地点

河北省承德市(N40°68',E117°56')离北京 200km,城市位于河谷盆地之中。气候处于暖温带和寒温带的过渡地带。年均温 9℃左右,降雨量 550mm,80%集中在 7、8 月份。西北风为主导风向,年均风速  $1.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , $>17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风日仅为 25d,全年静风频率高达 49%,这种气候特点加上盆地地形使污染物难以散出。大气污染属煤烟型,以面源污染为主,主要大气污染物以  $\text{SO}_2$  为主,TSP 次之,降尘第三, $\text{NO}_x$  污染最轻。

### 1.2 样品采集和处理

1992 年 5 月至 1993 年 1 月在火车站设点,在一棵 20a 树龄油松的东、西、南、北、中 5 个方位,选一当年生枝条并标记。每次在 5 个部分分别采样,一次获 5 个样品。每月分上、下旬(10 日和 20 日)在同一部位反复采集,获平行样品 10 个(即  $n=10$ )。采集鲜重约 200g,以大量自来水冲洗,去除粉尘和煤烟尘等污染物。用同样办法于春、夏、秋、冬四季在火车站、市政府、避暑山庄 3 个常年大气监测点采集油松针叶。样品风干后粉碎,放入干燥器内备用。

### 1.3 样品分析

用硫酸钡比浊法测全硫量,用国产 Y2 火焰吸收分光光度计测定 Fe、Zn、Cu、Mn 含量,用美国制 AA-41 原子吸收分光光度计测定 Pb、Ni 含量。均为全量。

### 1.4 样品分析精确度的控制

在消化每批样品时加入 2 个标样(地质矿产部地球物理化学勘查研究所研制,1990),共 6 批,用上述方法进行化学分析。除 Mn 前 3 次样品比标准值范围的低值偏低 12%,Pb 前 3 次样品比标准值的高值偏高 4%外,其余元素测定结果均在标准值范围内,说明分析数据可靠。

## 2 结果和讨论

### 2.1 油松针叶内硫及重金属动态变化

#### 2.1.1 硫

火车站油松当年生针叶内硫含量以 6 月份为最低,为  $0.75 \pm 0.09\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,11 月份为最高,达  $1.58 \pm 0.16\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,相差 110%。生长初期幼叶内(5 月份)的含量也很高,达  $1.13 \pm 0.05\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,而生长旺盛季节的 6、7、8 月份,S 含量相对较低,其一年内的动态变化规律是:生长末期>休眠期>生长初期>生长旺盛期( $p<0.001$ )。除冬季(12 月,1 月)外整个生长季节 S 含量的变化与大气  $\text{SO}_2$  的变化基本相符合(图 1),说明了植物内 S 的变化主要受大气  $\text{SO}_2$  的影响。S 虽然是植物生长的必需元素,但维持植物正常需要的 S 主要是以  $\text{SO}_4^{2-}$  的形式从土壤中吸收,这些  $\text{SO}_4^{2-}$  进入植物体后,一部分保持不变,大部分被还原成硫氨基(SH)和联硫基(S-S)而形成有机化合物,如含硫氨基酸、胱氨酸和半胱氨酸,成为蛋白质的组成部分。而植物从气孔吸

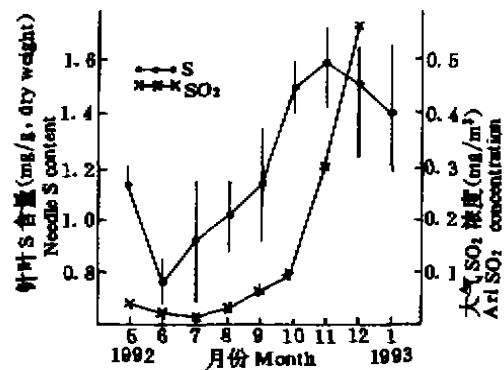


图 1 火车站油松针叶内 S 含量和大气  $\text{SO}_2$  浓度的月动态变化 ( $n=10$ )

Fig. 1 Monthly changes of sulphur contents in the needles of *Pinus tabulaeformis* Carr. and the air  $\text{SO}_2$  concentration at railway station in 1992 ( $n=10$ )

入的 SO<sub>2</sub>, 主要是以亚硫酸根(SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)的形式存在于叶室, 其含量对植物有害, 只有经过较长时间的反应后, SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>才氧化成 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>而使毒性降低, 这部分 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>也可能加入蛋白质的合成, 但植物很少依靠这种途径吸收硫元素, 且 SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>过剩后会使 SO<sub>2</sub> ⇌ SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> ⇌ SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的反应逆向转移, 这样 S 的增加就是有害的。从植物硫的动态变化来看, 生长旺盛时期 S 含量并不高, 不是因为植物对硫的吸收作用降低, 因为此期植物生理活动旺盛, 对 S 的吸收也很快, 而且此时土壤中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 仍然是充足的, 而是与周围大气中 SO<sub>2</sub> 浓度下降有关。另外油松针叶内 S 并不是线性增长, 例如休眠期虽然大气 SO<sub>2</sub> 浓度继续升高, 而针叶内 S 反而下降。

### 2.1.2 重金属

Cu 和 Fe 在整个生长季节均呈下降趋势(图 2), 其中 Cu 从生长初期的 6.1 μg · g<sup>-1</sup> 下降到末期的 3.1 μg · g<sup>-1</sup>, Fe 从 192.3 μg · g<sup>-1</sup> 下降到 83.4 μg · g<sup>-1</sup>。Zn 也呈下降趋势, 然而至休眠期略有回升, 其含量变化于 27—40 μg · g<sup>-1</sup> 之间。Mn 在 1 月份最高, 7 月份次之, 含量为 127.8 μg · g<sup>-1</sup> 和 88.5 μg · g<sup>-1</sup>, 而 5 月份以及 9—12 月则相对很低。Ni 在针叶内的变化也不大, 除生长初期含量稍高外, 其余季节均较低, 变化范围在 0.2—0.3 μg · g<sup>-1</sup> 之间。Pb 含量在生长初期和末期较高, 而生长旺盛期最低, 从 0.7 μg · g<sup>-1</sup> (6 月份) 上升到 2.00 μg · g<sup>-1</sup> (12 月份), 增加 200%, 5 月份的含量也很高, 达 1.13 μg · g<sup>-1</sup>, 与大气 TSP 的变化规律基本一致。不过虽然 8 月份大气 TSP 相对较低, 而植物体内 Pb 含量却相对很高, 这主要是因为该季节处于旅游最旺盛时期, 来往车辆繁忙, 排放的 Pb 也相应升高, 在油松针叶中反应出来。

Cu 是某些氧化酶的组成部分, 它的来源主要以 Cu<sup>+</sup> 和 Cu<sup>2+</sup> 的形式从土壤溶液吸收, Fe 也主要由土壤进入植物体, 从土壤溶液中进入植物体后即处于被固定状态, 不易转移。针叶中 Cu 和 Fe 的变化与 TSP 的变化规律并不一致, 而只是与植物本身的生理特性有关, 生长初期和生长旺盛期对 Fe 和 Cu 的吸收作用较旺盛, 尽管大气中 TSP 含量并不高。在生长末期大气 TSP 含量非常高, 但植物体内的 Cu、Fe 含量并不增加反而降低。Zn 的变化规律受大气 TSP 的影响, 表现在春和冬季具较高的含量, 而是因为大气中的 TSP 含量在夏秋季最低; Mn 在土壤中以不同氧化态存在, 但主要以 Mn<sup>2+</sup> 的状态被吸收, 1 月份 Mn 的升高与大气 TSP 有关, 但 7 月份 Mn 含量升高, 可能与植物的代谢作用有关。Pb 不是植物生长的必需元素, 而主要来源于大气中的总悬浮颗粒物。城市中 TSP 以冬春季最高、秋季次之, 夏季最低(图 3)。Pb 来自汽车尾气排放的颗粒物, 其变化与这种规律基本相符合。Ni 的变化幅度不明显, 说明 Ni 不是大气中的主要污染物。

## 2.2 油松针叶内硫含量与大气 SO<sub>2</sub> 的相关性

### 2.2.1 火车站

在火车站监测点, 共分析油松针叶含量数据 90 个(1992 年 5 月至 1993 年 1 月, 共 9 个月, 每月 10 个平行数据)。按每月的上旬和下旬获 18 个平均数据。在这些数据中, 12 月份和 1 月份(即冬季)因大气 SO<sub>2</sub> 浓度上升很快, 但针叶 S 上升很少或呈下降趋势(图 1), 故在回归分析中未统计在内。利用每月上、下旬针叶 S 含量(n=14)与同期测定的大气 SO<sub>2</sub> 浓度进行一元回归分析(图 4.a), 可得下式:

$$Y = -0.0263 + 0.0965X \quad r = 0.8911 \quad p < 0.001, n = 14$$

Y, 大气中的 SO<sub>2</sub> 浓度; X, 针叶中 S 含量。

此式进一步说明了火车站植物体内 S 含量主要受大气 SO<sub>2</sub> 浓度的影响, 是植物监测大气

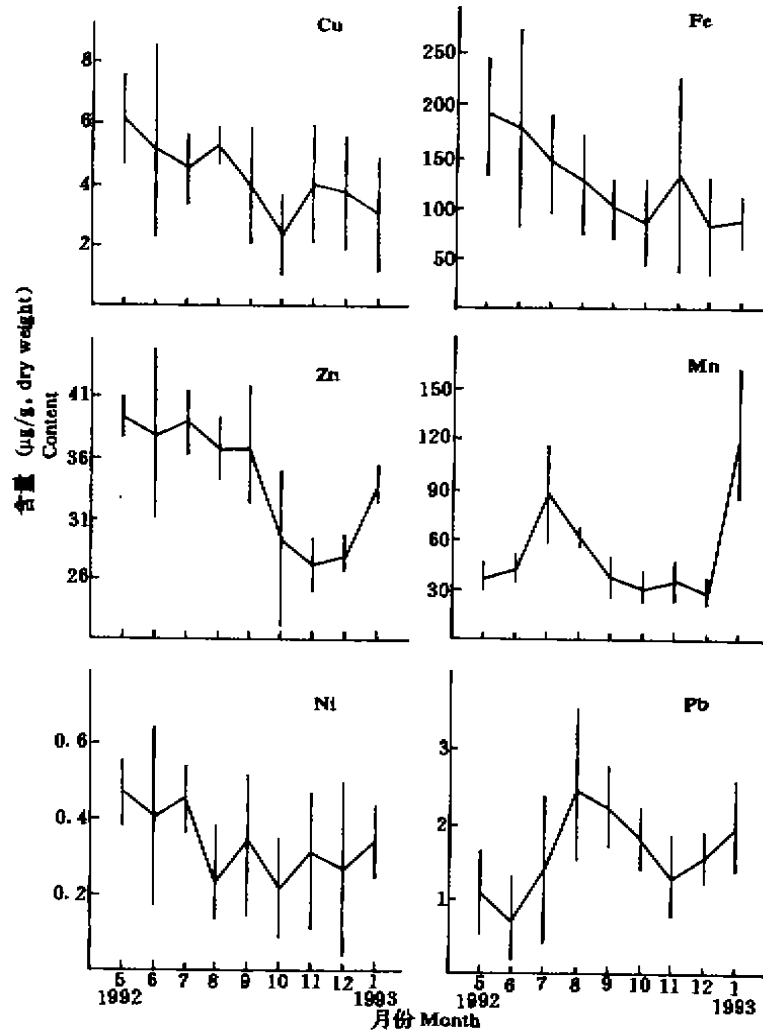


图2 火车站油松针叶内重金属 Cu、Fe、Zn、Mn、Ni、Pb 含量月变化 ( $n=10$ )

Fig. 2 Monthly changes of Cu, Fe, Zn, Mn, Ni, Pb in the leaves of *Pinus tabulaeformis* Carr. at the railway station in 1992 ( $n=10$ )

污染的主要机理。

### 2.2.2 城区

承德市原有 5 个常年监测点, 1991 年优化布点后保留 3 个, 这 3 个点是火车站、市政府、避暑山庄(相对清洁区), 均位于市区。在这 3 个地点采集油松, 与大气  $SO_2$  采样同步进行, 以寻找油松 S 含量与大气  $SO_2$  之间的相关关系, 用以监测承德市的大气  $SO_2$  污染, 比利用上述火车站逐旬的监测数据所得到的相关公式要客观, 因为火车站是一个污染点, 所得到的相关公式难以监测轻污染及相对清洁区的  $SO_2$  分布状况。据城区各监测点常年大气  $SO_2$  监测数据与油松针中 S 含量之间所得相关公式来监测整个城市大气  $SO_2$  污染, 在时间上和空间上都具有典型性。

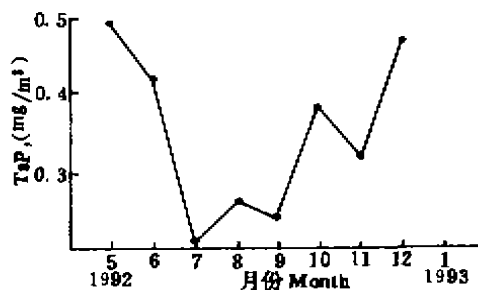


图3 火车站大气总悬浮颗粒物的月变化曲线

Fig. 3 Monthly changes of air TSP at the railway station in 1992

承德市城区油松叶 S 针中含量与大气 SO<sub>2</sub> 之间的相关公式(冬季数据未统计在内)为:

$$Y = 0.0126 + 0.0618X,$$

$$r = 0.7841 \quad p < 0.01, n = 9$$

所得相关曲线及散点图见图 4b。

冬季油松针叶中监测功能或消失的原因可解释为,冬季由于居民大量取暖,加剧了大气 SO<sub>2</sub> 的排放,使大气中 SO<sub>2</sub> 成数十倍地增加(如市政府冬季大气 SO<sub>2</sub> 是夏季的 18 倍)。但对植物来讲,冬季处于休眠期,生理活动很弱,植物吸收的 S 以被动吸收为主,其含量上升很慢或甚至下降,这样针叶内 S 含量的变化与大气

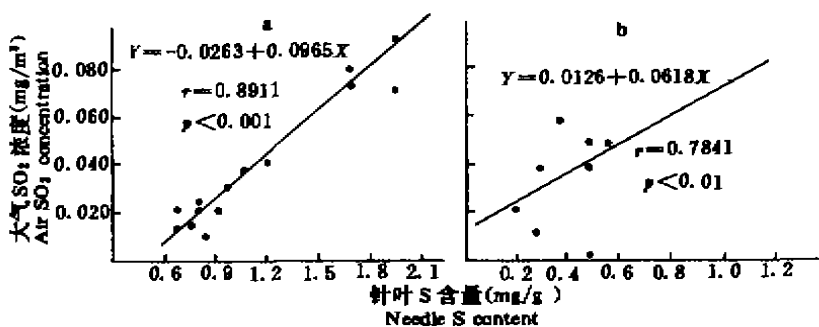


图4 油松针叶含量与大气之间的相关曲线

Fig. 4 Relation line of *Pinus tabulaeformis* Carr. between needle S and air SO<sub>2</sub>.

a, 火车站 the railway station; b, 城区 the city area

SO<sub>2</sub> 浓度的变化不能同步进行,因此期监测功能基本上消失。所以,生物监测大气污染具有明显的季节性。利用生物方法监测大气污染,应以与生长季节同期建立的相关公式为准。

### 3 结论

3.1 承德市油松针叶内 S 含量以生长末期为最高,休眠期次之,生长旺盛期最低;重金属中的 Pb 也表现为相似的规律,这种变化与大气中的 SO<sub>2</sub> 和 TSP 的浓度变化规律基本一致,说明了植物体内的污染物质主要受大气中的污染物质浓度的影响,是植物生物监测大气污染的主要机理。

3.2 油松针叶 S 含量与大气 SO<sub>2</sub> 浓度之间有很显著的相关性,其中火车站  $r = 0.8911$  ( $p < 0.001$ );城区  $r = 0.7841$  ( $p < 0.01$ )。

3.3 冬季大气 SO<sub>2</sub> 上升很快,但植物处于休眠期,对大气中 SO<sub>2</sub> 浓度的增加反应迟钝,认为冬季油松针叶监测功能较差或不具备监测功能。

### 参 考 文 献

- 1 潘如圭,汪嘉熙,柯福妹等.城市大气氟化物与植物含氟量之间的关系的研究.环境科学,1987,8(2):28—31

- 2 北京造林绿化净化大气科研协作组. 树木、绿地净化 SO<sub>2</sub> 和抗性问题的研究. 环境科学, 1987, 8(3): 14—18
- 3 张西萍, 李敏, 罗钟梅. 监测大气二氧化硫树种的筛选及应用. 中国环境科学, 1988, 8(4): 17—22
- 4 陈树元, 唐述虞, 汪嘉熙. 某些植物二氧化硫伤害阈值的初步实验. 环境污染与防治, 1986, 8(1): 36—38
- 5 黄银晓, 林舜华, 韩荣庄等. 城市化对植物生长发育的影响. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12: 256—263
- 6 Hager H and Kazda M. The influence of stand density and canopy position on sulfur content in needles of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.). *Water, Air and Soil Pollution*, 1985, 25: 321—329
- 7 Johnson D W. Sulphur cycling in five forest ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1986, 30: 965—979
- 8 郭梦德. 植物叶片中 F, S 含量与叶龄和季节关系的初步分析. 环境科学, 1980, 1(2): 38—43
- 9 陈春焕, 颜丽英. 应用植物含硫量预测广州市大气中的 SO<sub>2</sub> 浓度. 环境污染与防治, 1987, 9: 10—14
- 10 Albasel N and Correnie A. Heavy metal constration near major highways, industrial and urban area in Belgian Grassland. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1985, 24: 103—109
- 11 Schrimpf E. Air pollution patterns in two cities of Colombia, S. A. according to trace substances content of an epiphyte (*Tillandsia recurrate* L.). *Water, Air and Soil Pollution*, 1984, 21: 279—315
- 12 陈锐章, 彭桂英. 植物根系环境 Cl, S 含量对叶片 Cl, S 含量和抗性的影响. 环境科学, 1982, 4(3): 45—49

## THE DYNAMICS OF SULPHUR AND HEAVY METAL CONTENT IN THE NEEDLES OF *PINUS TABULAEFORMIS* CARR AND THE RELATION BETWEEN NEEDLESULPHUR AND AIR SO<sub>2</sub>

Jiang Gaoming

(Institute of Botany, Academia Sinica, Beijing, China, 100044)

This paper studied the monthly changes of S and heavy metals in the needles of *Pinus tabulaeformis* Carr., the relation between needle S content and air SO<sub>2</sub> concentration, as well as its function in air SO<sub>2</sub> pollution monitoring at the railway station, Chengde city, North China. The needles had the highest S content at the end of growth season, and the lowest, at the vigorous period of plant growth. A general conclusion about plant S content is as followings end growth period > dormant period > the begining of growth period > vigorous period ( $p < 0.001$ ). For heavy metals, Pb showed the same trend, Ni changed little. Cu, Fe and Zn, on the hand, decreased from the begining of needle growth, except Zn increased a little in dormant period; Mn had the highest content during the dormant period. S and Pb increased from 0.75mg/g and 0.7μg/g to 1.58mg/g and 2.0μg/g, respectively. Such changes were similar to those of SO<sub>2</sub> and TSP concentrations in the atmosphere. There was a linear relation between the needle S content and air SO<sub>2</sub> concentration;  $Y = -0.0263 + 0.0965X$  ( $r = 0.8911$ ,  $p < 0.001$ ) for the railway station; and  $Y = 0.0126 + 0.0618X$  ( $r = 0.7841$ ,  $p < 0.01$ ) for the city area. There for we could apply the linear model of city area to monitor the SO<sub>2</sub> allocation in Chengde.

**Key words:** needls of *Pinus tabulaeformis* Carr. sulphur and heavy metals, SO<sub>2</sub> in the air, biomonitoring, Chengde city.